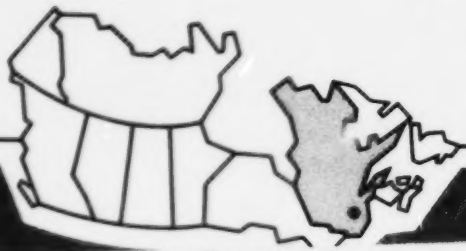
Environment Canada | Environnement Canada
Canadian Forestry Service | Service canadien des forêts

Biomass equations for black spruce in Quebec

D. Ouellet



Information Report LAU-X-60E
Laurentian Forest Research Centre

Environment Canada | Environnement Canada

00892341 DEST PVM EXCH COPY 03
SB 761 C32B
VOL ISS 60
INFORMATION REPORT (LAURENTIAN FORE
ST RESEARCH CENTRE)

Energy ENFOR from the Forest

Canada

CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES DES LAURENTIDES

Le Centre de recherches forestières des Laurentides (CRFL) est un des six établissements régionaux du Service canadien des forêts (SCF), au sein d'Environnement Canada. Le Centre poursuit des travaux de recherche et de développement pour un aménagement et une utilisation plus rationnels des ressources forestières du Québec. En collaboration avec divers groupes et organismes québécois, les chercheurs du CRFL visent à solutionner les problèmes majeurs en foresterie au Québec et à développer des méthodes acceptables pour l'amélioration et la sauvegarde de l'environnement forestier.

Au Québec, les activités du SCF portent sur trois éléments majeurs: la recherche dans le domaine des ressources forestières, la recherche dans le domaine de la protection et enfin, le développement forestier. La plupart des travaux sont entrepris pour répondre aux besoins des organismes intéressés à l'aménagement forestier, surtout dans le but d'améliorer la protection, la croissance et la qualité de la ressource forestière de la région. L'information est diffusée sous forme de rapports scientifiques, de feuillets techniques ou autres publications dans le but d'atteindre toutes les catégories d'utilisateurs des résultats de recherche.

LAURENTIAN FOREST RESEARCH CENTRE

The Laurentian Forest Research Centre (LFRC) is one of six regional establishments of the Canadian Forestry Service (CFS), within Environment Canada. The Centre's objective is to promote, through research and development, the most efficient and rational management and use of Quebec's forest. In cooperation with several Quebec agencies, scientists at LFRC work at solving major forestry problems and develop methods to improve and to protect the forest environment.

In the province of Quebec, CFS's program consists of three major elements: forest resources research, forest protection research, and forest development. Most of the research is undertaken in response to the needs of forest management agencies, with the aim of improving the protection, growth, and quality of the region's forest resource. The results of this research are distributed to potential users through scientific and technical reports and other publications.

Biomass equations for black spruce in Quebec

ENFOR Project P-225

D. Ouellet

Information Report LAU-X-60E
1983

Laurentian Forest Research Centre
Canadian Forestry Service
Environment Canada

Copies are available free of charge from:
Laurentian Forest Research Centre
Canadian Forestry Service
Environment Canada
1080, route du Vallon
P.O. Box 3800
SAINTE-FOY, Quebec G1V 4C7

Catalog No. Fo46-18/60E
ISSN 0703-2196
ISBN 0-662-12797-8

© Department of Supply and Services Canada, 1983

Aussi disponible en français sous le titre
"Équations de biomasse pour l'épinette noire au Québec".

FOREWORD

ENFOR is the bilingual acronym for the Canadian Forestry Service's ENergy from the FORest (ENergie de la FORêt) program of research and development aimed at securing the knowledge and technical competence to facilitate, in the medium to long term, a greatly increased contribution from forest biomass to our nation's primary energy production. This program is part of a much larger federal government initiative to promote the development and use of renewable energy as a means of reducing our dependence on pretroleum and other non-renewable energy sources.

ENFOR projects are selected from among proposals submitted by private and public research organizations according to scientific and technical merit in the light of program objectives and priorities. Regardless of proposal source, projects are carried out primarily by contract. For further information on the ENFOR program, contact:

ENFOR Secretariat
Canadian Forestry Service
Department of the Environment
Ottawa, Ontario
K1A 1G5

or the director of the establishment from which this report originates.

This report, based on ENFOR Project P-225, was prepared by the Canadian Forestry Service. Data for the Chibougamau region were collected under contract (DSS File No. 10SD-KL004-1-C-007) by Le Groupe Poulin, Thériault Ltée.

Biomass prediction equations for other tree species in Quebec are currently being prepared and will be published at a later date.

TABLE OF CONTENTS

		Page
FOREWORD		i
ABSTRACT		v
RÉSUMÉ		v
INTRODUCTION		1
METHODOLOGY		1
RESULTS		6
DISCUSSION		8
CONCLUSION		8
ACKNOWLEDGEMENTS		8
REFERENCES		9
APPENDIX 1	Green and ovendry masses of black spruce total tree and major components by diameter and height class	13
APPENDIX 2	Sampling procedure	21

ABSTRACT

Biomass prediction equations for black spruce (*Picea mariana* (Mill.) BSP) were developed from sampling carried out in three regions of Quebec: Lebel-sur-Quévillon, Chibougamau, and Baie-Comeau. Two series of equations are presented for predicting the green and ovendry masses of the total above-ground tree, stem, merchantable stem, wood and bark of the merchantable stem, unmerchantable stem, and crown. The first series of equations uses diameter at breast height and the total height as predictors, while the second series uses only the diameter at breast height.

RÉSUMÉ

Des équations de prédiction de la biomasse de l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP) ont été construites à partir d'un échantillonnage effectué dans trois régions du Québec, soit: Lebel-sur-Quévillon, Chibougamau et Baie-Comeau. Deux séries d'équations sont présentées afin de prédire les masses vertes et anhydres de l'arbre total (partie située au-dessus du niveau du sol uniquement), de la tige, de la partie marchande de la tige, de son bois et de son écorce, de la partie non-marchande de la tige, et de la cime. La première série d'équations utilise le diamètre à hauteur de poitrine et la hauteur totale de l'arbre comme variables explicatives tandis que la deuxième série d'équations utilise le diamètre à hauteur de poitrine.

INTRODUCTION

Sometime in the not-too-distant future, forest biomass could become an important renewable energy source in Canada. This is especially true in Quebec, where the total volume of biomass available on an annual basis is estimated at 35 million m^3, or more than 15 million tonnes of dry matter (Lussier and Maranda 1982).

The aim of this report is to provide biomass prediction equations for black spruce (*Picea mariana* (Mill.) BSP) in Quebec. Black spruce is the most important commercial species in Quebec and accounts for 44% of the gross merchantable volume in accessible public forests.[1] These equations will make it possible to quantify the resource in terms of mass, whether for management or development purposes. They are designed for application to data from volumetric inventories, in which the most frequently measured parameter is the diameter at breast height. For a limited number of sample trees, conventional inventories also include total height measurements. Therefore, two series of equations were produced. The first series uses the diameter at breast height and the total height as predictors, while the second series uses only the diameter at breast height. Both series of equations make it possible to predict the green and ovendry masses of the total above-ground tree and its components.

We have selected nonlinear models which have been shown elsewhere to provide acceptable predictions for biomass (Baskerville 1965 and 1972; Hegyi 1972; Crow and Laidly 1980; Payandeh 1981).

METHODOLOGY

The black spruce samples used in this study were taken from three regions in Quebec: Lebel-sur-Quévillon, Chibougamau, and Baie-Comeau,

---

[1] Demers, D. Service de l'Inventaire forestier, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Personal communication.

designated in the text as regions L, C, and B (Figure 1). Region L is part of the B.4 forest region described in Rowe (1972); region C, where most of the sampling was carried out, is in Rowe's B.1b; and region B is on the boundary between Rowe's B.1a and B.1b forest regions.

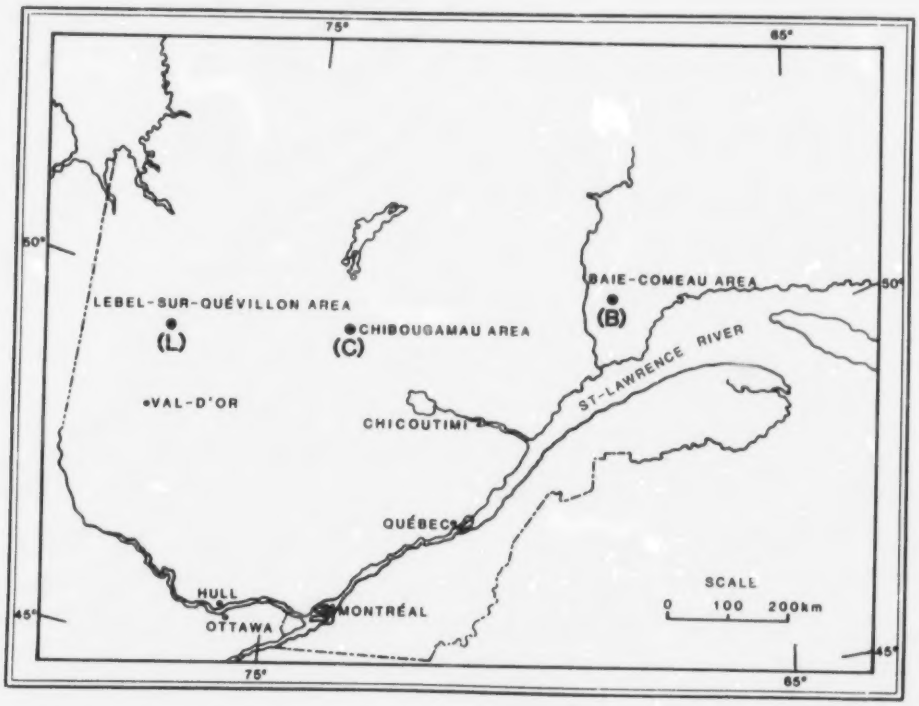


Figure 1. Localisations of sample regions

A total of 734 trees were selected for this study. They were taken from 31 0.04-ha sample plots distributed as follows: 3 plots in region L (72 trees), 24 plots in region C (576 trees), and 4 plots in region B (86 trees). The methodology employed for the field and laboratory operations is described in Appendix 2. Descriptive statistics for trees in each of the three regions and in all of the regions combined are given in table 1. The sample plots were classified in accordance with the site index in Linteau (1959). Their distribution was as follows: 14 class II (high quality) plots (328 trees), 15 class III (medium quality) plots (358 trees), and 2 class IV (low quality) plots (48 trees).

Table 1. Descriptive statistics for sampled trees

		No. of trees	Mean	Range Low	Range High	Standard deviation
Lebel-sur-Quévillon (Region L)	Age (years)	68	116.7	64	222	19.44
	DBH (cm)	72	16.21	3.20	30.40	6.02
	Total height (m)	72	15.31	3.30	22.77	4.95
	Crown mass (kg)	72	16.29	0.27	75.12	16.04
	Stem mass (kg)	72	94.21	0.09	345.20	67.28
	Tree mass (kg)	72	110.50	0.36	415.66	79.40
Chibougamau (Region C)	Age (years)	515	117.3	35	244	41.88
	DBH (cm)	576	13.63	3.10	32.90	5.74
	Total height (m)	576	12.28	2.66	21.70	4.59
	Crown mass (kg)	576	13.13	0.10	99.41	12.73
	Stem mass (kg)	576	57.04	0.58	259.14	50.43
	Tree mass (kg)	576	70.17	0.77	356.22	60.90
Baie-Comeau (Region B)	Age (years)	81	138.1	54	224	36.09
	DBH (cm)	86	14.71	3.10	26.50	5.46
	Total height (m)	86	13.33	3.00	22.31	4.52
	Crown mass (kg)	86	12.00	0.60	45.56	10.21
	Stem mass (kg)	86	70.68	1.08	230.37	49.22
	Tree mass (kg)	86	82.68	1.76	263.10	56.85
All regions	Age (years)	664	119.8	35	244	40.02
	DBH (cm)	734	14.01	3.10	32.90	5.78
	Total height (m)	734	12.70	2.66	22.77	4.71
	Crown mass (kg)	734	13.31	0.10	99.41	12.86
	Stem mass (kg)	734	62.28	0.09	345.20	53.33
	Tree mass (kg)	734	75.59	0.36	415.66	63.59

For the study, the green and ovendry masses of the following black spruce components were measured:

1. total above-ground tree;
2. total stem;
3. merchantable stem (to 9 cm at top diameter);
4. wood of merchantable stem;
5. bark of merchantable stem;
6. unmerchantable stem;
7. crown, including live branches, needles, and cones.

The equation models tested were of two types: linear and nonlinear. Linear models take the general form:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \ldots + b_p x_p + e \qquad (1)$$

where y is the mass of a component expressed in kg; x_i (i = 1, ... , p) is a function of a combination of the diameter at breast height (D) expressed in centimetres and/or the total height (H) expressed in metres. These models are frequently used for calculating biomass (Alemdag 1981; Lavigne and van Nostrand 1981; Ker and van Raalte 1981). The selected nonlinear model with D and H is of the form:

$$y = b_1 D^{b_2} H^{b_3} + e \qquad (2)$$

The linear models generally provided coefficients of determination (R^2) similar to those obtained for the nonlinear model. Coefficient of determination is therefore not an adequate criterion for selecting a model, and analysis of the residuals was used to assess the extent to which the models fit the data. On the whole, the best fit was obtained with nonlinear model (2). This model has the advantages of being flexible and keeping the same form for all components, unlike the linear models, whose form often differs from component to component when stepwise regression is used in selecting predictors.

The coefficients for model (2) are estimated by the iterative least squares method (Jennrich 1977). The disavantage of this technique is that the minimum reached by the iterative algorithm can be local or general (Draper and Smith 1981). However, for black spruce components, convergence was arrived at rapidly and the estimates for the coefficients proved to be stable. Several authors (Smith and Grigal 1981; Payandeh 1981; Green and Grigal 1978; Crow and Laidly 1980; Stocks 1980) used the nonlinear model in preference to linear models. In addition, the nonlinear model is based on mathematics while the form of the linear models is a statistical consideration.

In most inventory data banks, including that of the Quebec's Ministère de l'Énergie et des Ressources, the parameter available for all trees is diameter at breast height. Total height is usually derived from a height-diameter relation constructed on the basis of a sampling of a smaller number of trees for which both parameters have been measured. This is why a series of equations using D only is presented for each component and for the total tree. The model for these equations is:

$$y = b_1 D^{b_2} + e \qquad (3)$$

As for model (2), the regression coefficients are determined through iterative least squares method.

Unequal error variance has been observed for biomass data. The assumption of equal variance for the least squares method therefore does not hold. Consequently, the regression coefficients remain unbiased but are no longer at minimum variance and statistical inferences (particularly the confidence intervals for the predicted values ($\hat{y}_i$)) become less precise. To correct this problem, we used a weighted least squares technique in which the sum of the squares to be minimized is:

$$\Sigma\, w_i\, (y_i - \hat{y}_i)^2 \qquad (4)$$

where

$$w_i = \frac{k^2}{\sigma_i^2} \qquad (5)$$

k^2 is a constant and σ_i^2 is the variance.
The weighing factor (w_i) is inversely proportional to the variance. Graphical analysis of residuals ($y_i - \hat{y}_i$) for ordinary least squares showed that the residual variance increases with D. This observation, supported by literature on biomass and volume measurement, prompted us to formulate the following hypothesis:

$$\sigma_i^2 = k^2 D_i^{\delta} \tag{6}$$

from whence

$$w_i = \frac{1}{D_i^{\delta}} \tag{7}$$

The problem is therefore to find the value for δ which yields the best w_i. However, the usual indices of fit (R^2 and standard error of estimates (s)) cannot be used in selecting this value. Introduction of w_i in equation (4) changes the scale of y and makes the values of R^2 and s incomparable for different values of δ. The index of fit derived by Furnival (1961) was employed to find the best value for δ. For all components except the unmerchantable stem, ($\delta = 4$) gives the best results. For the unmerchantable stem, the best results are obtained without weighing.

RESULTS

Table 2 gives the regression coefficients for the model with D and H, the applicable range, the coefficient of determination, and the standard error of estimate. The latter two have been converted to arithmetic units. The R^2 are generally high except for the green and ovendry masses of the unmerchantable stem (0.33 and 0.34 respectively). Appendix 1 provides tables showing green and ovendry biomass by component for the model with D and H (model 2). Component masses are given in kilograms. Table 3 provides the same information (regression coefficients, applicable range, coefficient of determination, and standard error of estimate) for the model with D only. The values obtained for the R^2 are lower than those for the model with D and H, and the s values are higher.

The mathematical procedure used in determining the confidence intervals for the predicted values is not standard; it is tailored to the individual models. This procedure, whose development required the collaboration of a mathematician, should be made available shortly.

Table 2. Equations for predicting green and ovendry mass in black spruce

model $\hat{y} = b_1 D^{b_2} H^{b_3}$

	b_1	b_2	b_3	APPLICABLE RANGE D(cm)	APPLICABLE RANGE H(cm)	R^2	s
GREEN MASS							
Total	0.169435	2.148830	0.278921	3.1-32,0	2.7-22.8	0.96	20.65
Stem	0.072632	1.818902	0.859105	3.1-32,0	2.7-22.8	0.98	11.84
Merchantable stem	0.017099	2.137764	1.006477	9.1-32,0	5.7-22.8	0.96	16.80
Unmerchantable stem	23.728418	-1.037339	0.854697	9.1-32,0	5.7-22.8	0.33	2.58
Crown	0.170944	2.872389	-1.106552	3.1-32,0	2.7-22.8	0.71	12.11
Merchantable stem wood	0.013777	2.129489	1.045192	9.1-32,0	5.7-22.8	0.96	15.11
Merchantable stem bark	0.003593	2.182870	0.768734	9.1-32,0	5.7-22.8	0.91	2.96
OVENDRY MASS							
Total	0.082980	2.082048	0.417362	3.1-32,0	2.7-22.8	0.97	10.63
Stem	0.035541	1.752414	1.000382	3.1-32,0	2.7-22.8	0.98	6.73
Merchantable stem	0.007849	2.050743	1.193660	9.1-32,0	5.7-22.8	0.96	9.37
Unmerchantable stem	12.525543	-1.235576	1.087412	9.1-32,0	5.7-22.8	0.34	1.68
Crown	0.085294	2.888177	-1.075217	3.1-32,0	2.7-22.8	0.71	6.98
Merchantable stem wood	0.006308	2.034229	1.243561	9.1-32,0	5.7-22.8	0.96	8.49
Merchantable stem bark	0.001777	2.170398	0.839864	9.1-32,0	5.7-22.8	0.90	1.85

Table 3. Equations for predicting green and ovendry mass in black spruce.

model $\hat{y} = b_1 D^{b_2}$

	b_1	b_2	APPLICABLE RANGE D(cm)	R^2	s
GREEN MASS					
Total	0.186673	2.381657	3.1-32.0	0.95	22.52
Stem	0.100993	2.525641	3.1-32.0	0.94	20.71
Merchantable stem	0.038946	2.814353	9.1-32.0	0.90	25.35
Unmerchantable stem	38.167971	-0.382850	9.1-32.0	0.17	2.87
Crown	0.161253	1.828947	3.1-32.0	0.62	13.70
Merchantable stem wood	0.032653	2.829444	9.1-32.0	0.90	23.03
Merchantable stem bark	0.006513	2.711091	9.1-32.0	0.88	3.37
OVENDRY MASS					
Total	0.096332	2.428870	3.1-32.0	0.96	12.66
Stem	0.053649	2.565617	3.1-32.0	0.94	13.16
Merchantable stem	0.021019	2.850562	9.1-32.0	0.90	15.91
Unmerchantable stem	22.910667	-0.401920	9.1-32.0	0.14	1.92
Crown	0.080830	1.873260	3.1-32.0	0.63	7.87
Merchantable stem wood	0.017698	2.865686	9.1-32.0	0.90	14.51
Merchantable stem bark	0.003456	2.742218	9.1-32.0	0.86	2.15

DISCUSSION

The contribution of H as a predictor is generally significant except in the cases of the green and ovendry masses of the crown and the total tree, for which R^2 and s obtained with models (2) and (3) are practically identical. In general, when D alone is used, the equation obtained is said to be local. On the other hand, when both D and H are used, the equation is said to be generalized. The black spruce samples used in the study cover plots of high, medium, and low quality, and some of these plots are located in different ecological regions. It would therefore appear that by using D as the sole predictor it is possible to arrive at equations for crown and total tree green and ovendry mass that are just as generalized as equations employing both D and H.

CONCLUSION

The establishment of single-tree regression equations for predicting species biomass is the first step in estimating the green and ovendry masses of individual trees, components, or stands. These equations should make it possible to predict black spruce biomass with acceptable accuracy, especially insofar as the total tree and the stem are concerned. For some components, including the merchantable stem, the merchantable stem wood, the merchantable stem bark, and the crown, the predictors currently available in conventional inventory banks do not make it possible to obtain a better fit than the one we have shown in this report.

ACKNOWLEDGEMENTS

Le Groupe Poulin Thériault Ltée collected the data for the Chibougamau region under a contract financed by the ENFOR program. I would like to thank Mr. J.B. Breton for processing the samples.

REFERENCES

Alemdag, I.S. 1981. Équations de masse pour la portion épigée de six essences de feuillus dans des peuplements naturels de la forêt expérimentale de Petawawa. Serv. Can. For., Inst. for. nat. Petawawa. Rapp. Inf. PI-X-6(F). 10 p.

Baskerville, G.L. 1965. Estimating dry weight of tree components and total standing crop in conifer stands. Ecology. 46:867-869.

Baskerville, G.L. 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. Can. J. For. Res. 2:49-53.

Crow, T.W.; Laidly, P.R. 1980. Alternative models for estimating woody plant biomass. Can. J. For. Res. 10:367-370.

Draper, N.R.; Smith, H. 1981. Applied regression analysis. 2nd ed. John Wiley and Sons, Inc. New York, N.Y. 709 p.

Furnival, G.M. 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. For. Sci. 7:337-341.

Green, D.C.; Grigal, D.F. 1978. Generalized biomass estimation equations for jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.). Minnesota For. Res. Note 268. 4 p.

Hegyi, F. 1972. Dry matter distribution in jack pine stands in northern Ontario. For. Chron.: 48:193-197.

Jennrich, R. 1981. Nonlinear regression and maximum likelihood estimation. Pages 289-344 *in* W.J. Dixon, ed. BMDP statistical software. Univ. California Press, Berkeley, Calif.

Ker, M.F.; van Raalte, G.D. 1981. Tree biomass equations for *Abies balsamea* and *Picea glauca* in northwestern New Brunswick. Can. J. For. Res. 11:13-17.

Lavigne, M.B.; van Nostrand, R.S. 1981. Biomass equations for six tree species in central Newfoundland. Can. For. Serv., Newfoundland For. Res. Centre. Inf. Rep. N-X-199. 51 p.

Linteau, A. 1959. Classification des stations forestières de la section des conifères du Nord-Est, région forestière boréale du Québec. Min. Nord Can. ressources nat., Dir. Forêts., Bull. 118. 93 p.

Lussier, L.J.; Maranda, J. 1982. Perspectives d'utilisation de la biomasse forestière au Québec. Serv. Can. For., Centre Rech. for. Laurentides. Rapp. Inf. LAU-X-52. 55 p.

Payandeh, B. 1981. Choosing regression models for biomass prediction equations. For. Chron. 57:229-232.

Rowe, J.S. 1972. Forest regions of Canada. Can. For. Serv., Pub. 1300. 172 p.

Schmitt, M.D.C.; Grigal, D.F. 1981. Generalized biomass estimation equation for *Betula papyrifera* Marsh. Can. J. For. Res. 11:837-840.

Stocks, B.J. 1980. Black spruce crown fuel weight in northern Ontario. Can. J. For. Res. 10:498-501.

Appendix 1

Green and ovendry masses of black spruce total tree and major components by diameter and height class

Annex 1.1 Black spruce total green mass (kg)

D (cm)	H (m)											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
4	4.04	4.91	5.49	5.95								
6	9.66	11.72	13.13	14.22	15.14							
8		21.75	24.36	26.39	28.09	29.55	30.85					
10		35.14	39.34	42.63	45.37	47.74	49.83					
12			58.21	63.08	67.13	70.63	73.73	76.53				
14				87.85	93.49	98.37	102.69	106.58	110.14			
16					124.56	131.06	136.81	142.01	146.75	151.13		
18						168.80	176.22	182.90	189.01	194.65		
20						211.69	220.99	229.38	237.04	244.11	250.68	
22							271.22	281.51	290.91	299.59	307.66	
24							326.89	339.39	350.72	361.18	370.91	
26								403.08	416.55	428.97	440.52	451.35
28									488.45	503.02	516.57	529.26
30									566.51	583.40	599.12	613.84
32									650.78	670.19	688.25	705.15

D: diameter at breast height; H: total height

N.B. The tables in Appendix 1 do not contain extrapolations; at least one tree was sampled for each diameter-height combination. Diameter and height classes are defined in Appendix 2.

Annex 1.2 Black spruce stem green mass (kg)

D (cm)	H (m)											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
4	1.64	2.97	4.21	5.40								
6	3.43	6.22	8.81	11.28	13.67							
8		10.50	14.87	19.04	23.06	26.97	30.79					
10		15.75	22.31	28.57	34.60	40.47	46.20					
12			31.09	39.80	48.21	56.39	64.37	72.20				
14				52.68	63.82	74.64	85.21	95.56	105.74			
16					81.36	95.16	108.63	121.83	134.81	147.58		
18						117.89	134.58	150.94	167.02	182.84		
20						142.79	163.01	182.83	202.29	221.46	240.36	
22							193.87	217.43	240.59	263.38	285.85	
24							227.11	254.72	281.84	308.54	334.87	
26								294.64	326.01	356.90	387.35	417.42
28									373.06	408.40	443.25	477.65
30									422.94	463.01	502.51	541.52
32									475.62	520.68	565.11	608.97

D: diameter at breast height; H: total height

Annex 1.3 Black spruce crown green mass (kg)

D (cm)	H (m)											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
4	4.26	1.98	1.26	0.92								
6	13.64	6.34	4.05	2.94	2.30							
8		14.48	9.24	6.72	5.25	4.29	3.62					
10		27.48	17.55	12.76	9.97	8.15	6.87					
12			29.62	21.55	16.83	13.76	11.60	10.01				
14				33.55	26.21	21.42	18.06	15.58	13.68			
16					38.46	31.43	26.50	22.86	20.07	17.86		
18						44.09	37.17	32.07	28.15	25.05		
20						59.67	50.31	43.40	38.10	33.90	30.51	
22							66.16	57.07	50.09	44.58	40.12	
24							84.94	73.27	64.32	57.24	51.51	
26								92.21	80.94	72.04	64.83	58.88
28									100.15	89.12	80.20	72.84
30									122.09	108.66	97.78	88.81
32									146.96	130.79	117.70	106.89

D: diameter at breast height; H: total height

Annex 1.4 Black spruce total ovendry mass (kg)

D (cm)	H (m)											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
4	1.99	2.65	3.14	3.54								
6	4.62	6.17	7.31	8.24	9.05							
8		11.23	13.31	15.00	16.47	17.77	18.95					
10		17.88	21.17	23.87	26.20	28.28	30.16					
12			30.95	34.90	38.30	41.33	44.08	46.61				
14				48.10	52.80	56.97	60.76	64.24	67.48			
16					69.72	75.23	80.23	84.83	89.11	93.11		
18						96.14	102.53	108.41	113.87	118.99		
20						119.73	127.68	135.00	141.80	148.18	154.19	
22							155.71	164.63	172.93	180.70	188.03	
24							186.63	197.33	207.27	216.59	225.38	
26								233.11	244.86	255.87	266.25	276.10
28									285.71	298.56	310.67	322.16
30									329.85	344.68	358.66	371.93
32									377.29	394.25	410.25	425.42

D: diameter at breast height; H: total height

Annex 1.5 Black spruce stem ovendry mass (kg)

D (cm)	H (m)											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
4	0.81	1.61	2.42	3.23								
6	1.64	3.29	4.93	6.57	8.22							
8		5.44	8.16	10.88	13.61	16.33	19.05					
10		8.04	12.07	16.09	20.12	24.14	28.16					
12			16.61	22.15	27.69	33.23	38.77	44.31				
14				29.02	36.27	43.53	50.79	58.05	65.31			
16					45.84	55.01	64.18	73.35	82.53	91.70		
18						67.62	78.90	90.17	101.45	112.72		
20						81.33	94.89	108.46	122.02	135.58	149.14	
22							112.14	128.17	144.20	160.23	176.26	
24							130.62	149.28	167.95	186.62	205.29	
26								171.76	193.24	214.72	236.20	257.68
28									220.04	244.50	268.96	293.42
30									248.32	275.92	303.52	331.13
32									278.05	308.96	339.87	370.78

D: diameter at breast height; H: total height

Annex 1.6 Black spruce crown ovendry mass (kg)

D (cm)	H (m)											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
4	2.22	1.05	0.68	0.50								
6	7.16	3.40	2.20	1.61	1.27							
8		7.80	5.04	3.74	2.91	2.39	2.03					
10		14.85	9.60	7.05	5.54	4.56	3.86					
12			16.26	11.93	9.39	7.72	6.54	5.66				
14				18.63	14.65	12.04	10.20	8.84	7.79			
16					21.55	17.71	15.01	13.00	11.45	10.23		
18						24.89	21.09	18.27	16.09	14.37		
20						33.74	28.59	24.76	21.82	19.48	17.58	
22							37.65	32.61	28.73	25.66	23.16	
24							48.40	41.93	36.94	32.99	29.77	
26								52.83	46.55	41.56	37.52	34.17
28									57.66	51.48	46.47	42.32
30									70.37	62.84	56.72	51.65
32									84.79	75.71	68.34	62.23

D: diameter at breast height; H: total height

Appendix 2
Sampling procedure

DIAMETER AND HEIGHT CLASSES

D (cm)		H (m)	
4:	3.1-5.0	2:	1.01-3.00
6:	5.1-7.0	4:	3.01-5.00
8:	7.1-9.0	6:	5.01-7.00
10:	9.1-11.0	8:	7.01-9.00
12:	11.1-13.0	10:	9.01-11.00
14:	13.1-15.0	12:	11.01-13.00
16:	15.1-17.0	14:	13.01-15.00
18:	17.1-19.0	16:	15.01-17.00
20:	19.2-21.0	18:	17.01-19.00
22:	21.1-23.0	20:	19.01-21.00
24:	23.1-25.0	22:	21.01-23.00
26:	25.1-27.0	24:	23.01-25.00
28:	27.1-29.0		
30:	29.1-31.0		
32:	31.1-33.0		

SAMPLE TREE SELECTION

In each stand, a point was randomly chosen for the sample plot. In each 0.04-ha plot, an inventory of all stems with diameters at breast height D greater than 1.1 cm was carried out. A total of 20 trees with D greater than 9.1 cm and 10 trees with D less than 9.1 cm were sampled. For trees with D greater than 9.1 cm, the number of trees selected by diameter class is proportional to the number of trees observed in that class in the plot and the square of the diameter of the class.

$$M_i = N_i \ \alpha_i^2$$

where N_i is the total number of trees in class i, and α_i is the class diameter. The number of trees sampled in each class is define by the report:

$$\frac{M_i}{\Sigma M_i} \quad X\ 20$$

For diameter classes 2, 4, 6, and 8, two trees were selected from each class. For D less than 1.1 cm, two stems were selected, one from the 51-100 cm height class and a second from the 101-150 cm height class.

SAMPLE TREE PROCEDURE

A. For Trees D > 9.1 cm

1. Cut off stem as close as possible to ground level.
2. Measure:
   a) total height to nearest dm;
   b) merchantable height (9 cm at top), to nearest cm;
   c) height at 1/3 and 2/3 of merchantable height; mark position on stem;
   d) height above-ground level of first live-branch verticil, to nearest dm;
3. Measure:
   a) D (outside bark (ob)), to nearest mm;
   b) diameter (ob) at 0.8 m above-ground level, to nearest mm;
   c) diameter (ob) of stump at position of cut, to nearest mm;
   d) diameter (ob) 5 cm below first live-branch verticil, to nearest mm;
   e) diameter at 1/3 and 2/3 of merchantable height, to nearest mm.
4. Separate and select following components:
   a) cut off branches leaving terminal shoot on stem;
   b) subdivide branches into three groups:
      - live branches with basal diameters greater than 3.0 cm,
      - live branches with basal diameters less than or equal to 3.0 cm,
      - dead branches;
   c) cut stem at 1/3, 2/3, and full merchantable height.

5. Weigh green mass (with bark) of following components:
   a) branches with basal diameters greater than 3.0 cm, branches with basal diameters less than or equal to 3.0 cm, dead branches;
   b) the three sections of the merchantable stem, separately;
   c) unmerchantable part of stem.
6. Select following samples:
   a) two branches with basal diameters greater than 3.0 cm;
   b) two branches with basal diameters less than or equal to 3.0 cm;
   c) two dead branches;
   d) one 3.0 cm-thick sample disc taken at each of:
      - the stump,
      - at breast height,
      - 1/3 merchantable height,
      - 2/3 merchantable height,
      - merchantable height (9.0 cm at top diameter).

Place samples in hermetically sealed bags. Label bags and samples.

7. In the 24 hours following collection of samples, all samples are weighed to the nearest 0.1 g. For sample discs, green mass is recorded with bark and without bark. Branches, discs, and bark are kept to determine ovendry mass.

B. <u>For trees 1.1 cm ≤ D < 9.1 cm</u>

1. Cut stem as close as possible to ground level.
2. Measure: a) total height, to nearest cm;
   b) diameter (ob) at cut, to nearest mm;
   c) diameter at breast height (ob), to nearest mm;
   d) diameter at 1/2 total height, to nearest mm.

3. Separate and select following components:
    a) cut off branches leaving terminal shoot;
    b) subdivide branches into three groups:
        - live branches with basal diameters greater than 3.0 cm (if applicable),
        - live branches with basal diameters less than or equal to 3.0 cm,
        - dead branches.
4. Weigh green mass (with bark) of following:
    a) live branches with basal diameters greater than 3.0 cm (if applicable);
    b) live branches with basal diameters less than or equal to 3.0 cm;
    c) dead branches;
    d) main stem.
5. Select the following samples:
    a) two branches chosen at random from each of the three groups (if applicable);
    b) one 3.0 cm-thick sample disc taken at each of:
        - the stump,
        - D (breast height),
        - 1/2 total height.

Place samples in hermetically sealed bags. Label bags and samples.

6. In the 24 hours following sample collection, all samples are weighed to the nearest 0.1 g. For sample discs, green mass is taken with bark and without bark. Branches, discs, and bark are kept for determination of ovendry mass.

LABORATORY PROCEDURES FOR PROCESSING SAMPLES

The samples taken were transported to Laurentian Forest Research Centre every two weeks and, to prevent deterioration, were immediately

frozen until drying time. All samples were oven-dried at 105°C for 24 hours or until there was no weight change.

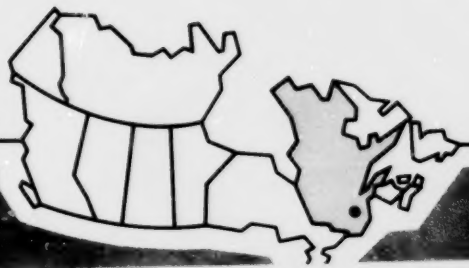
After drying, the samples were cooled to room temperature and then weighed to the nearest 0.1 g. The age of each sample tree was determined from the disc taken at the stump. All discs were retained for possible future biomass studies.

Environnement Canada
Service canadien des forêts

Environment Canada
Canadian Forestry Service

Équations de biomasse pour l'épinette noire au Québec

D. Ouellet



Rapport d'information LAU-X-60

Centre de recherches forestières des Laurentides

Environment Canada Environnement Canada

00160246 DEST PVM EXCH COPY 03
SB 761 C328
VOL ISS 60
RAPPORT D'INFORMATION (CENTRE DE RE
CHERCHES FORESTIERES DES LAURENTIDE
S). FRANCAIS

Énergie
ENFOR
de la Forêt

Canada

CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES DES LAURENTIDES

Le Centre de recherches forestières des Laurentides (CRFL) est un des six établissements régionaux du Service canadien des forêts (SCF), au sein d'Environnement Canada. Le Centre poursuit des travaux de recherche et de développement pour un aménagement et une utilisation plus rationnels des ressources forestières du Québec. En collaboration avec divers groupes et organismes québécois, les chercheurs du CRFL visent à solutionner les problèmes majeurs en foresterie au Québec et à développer des méthodes acceptables pour l'amélioration et la sauvegarde de l'environnement forestier.

Au Québec, les activités du SCF portent sur trois éléments majeurs: la recherche dans le domaine des ressources forestières, la recherche dans le domaine de la protection et enfin, le développement forestier. La plupart des travaux sont entrepris pour répondre aux besoins des organismes intéressés à l'aménagement forestier, surtout dans le but d'améliorer la protection, la croissance et la qualité de la ressource forestière de la région. L'information est diffusée sous forme de rapports scientifiques, de feuillets techniques ou autres publications dans le but d'atteindre toutes les catégories d'utilisateurs des résultats de recherche.

LAURENTIAN FOREST RESEARCH CENTRE

The Laurentian Forest Research Centre (LFRC) is one of six regional establishments of the Canadian Forestry Service (CFS), within Environment Canada. The Centre's objective is to promote, through research and development, the most efficient and rational management and use of Quebec's forest. In cooperation with several Quebec agencies, scientists at LFRC work at solving major forestry problems and develop methods to improve and to protect the forest environment.

In the province of Quebec, CFS's program consists of three major elements: forest resources research, forest protection research, and forest development. Most of the research is undertaken in response to the needs of forest management agencies, with the aim of improving the protection, growth, and quality of the region's forest resource. The results of this research are distributed to potential users through scientific and technical reports and other publications.

Équations de biomasse pour l'épinette noire au Québec

Projet ENFOR P-225

D. Ouellet

Rapport d'information LAU-X-60
1983

Centre de recherches forestières des Laurentides
Service canadien des forêts
Environnement Canada

Des exemplaires vous sont offerts gratuitement au:
Centre de recherches forestières des Laurentides
Service canadien des forêts
Environnement Canada
1080, route du Vallon
C.P. 3800
Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7

N° de Catalogue Fo46-18/60F
ISSN 0703-2196
ISBN 0-662-92292-1

© Ministère des Approvisionnements et Services Canada, 1983

Also available in English under the title
"Biomass equations for black spruce in Québec".

AVANT-PROPOS

ENFOR est l'acronyme bilingue du programme de recherche et de développement en matière d'ÉNergie FORestière (ENergy from the FORest) du Service canadien des Forêts, qui vise à s'assurer les connaissances et la compétence technique nécessaires afin de favoriser une forte augmentation de la contribution, à moyen et à long terme, de la biomasse forestière à la production d'énergie primaire de notre pays. Ce programme s'inscrit dans le cadre d'une entreprise beaucoup plus vaste du gouvernement visant à promouvoir le développement et l'utilisation de l'énergie renouvelable dans le but de réduire notre dépendance à l'égard du pétrole et des autres sources énergétiques non renouvelables.

Les projets d'ENFOR sont sélectionnés parmi une série de propositions présentées par des organisations de recherches privées et publiques, selon le bien-fondé scientifique et technique de chacune et à la lumière des objectifs et des priorités du programme. Quelque soit l'origine de la proposition, les projets sont surtout réalisés par contrat. Des informations additionnelles sur le programme ENFOR peuvent être obtenues en s'adressant au:

Secrétariat ENFOR
Service canadien des Forêts
Ministère de l'Environnement
Ottawa (Ontario)
K1A 1G5

...ou au directeur de l'établissement d'où provient le présent rapport.

Ce rapport, qui découle du projet ENFOR P-225, a été préparé par le Service canadien des Forêts. Les données recueillies dans la région de Chibougamau sont le résultat d'un contrat confié au Groupe Poulin, Thériault Ltée (dossier MAS 10SD-KL004-1-C-007).

Des équations de prédiction de la biomasse des autres essences forestières du Québec sont actuellement en préparation et feront l'objet d'une publication ultérieure.

TABLE DES MATIÈRES

		Page
AVANT-PROPOS		i
RESUMÉ		v
ABSTRACT		v
INTRODUCTION		1
MÉTHODOLOGIE		1
RÉSULTATS		6
DISCUSSION		7
CONCLUSION		7
REMERCIEMENTS		10
RÉFÉRENCES		10
ANNEXE 1	Masses vertes et anhydres de l'épinette noire et de ses principales composantes, en fonction du diamètre à hauteur de poitrine	13
ANNEXE 2	Procédure d'échantillonnage	21

RÉSUMÉ

Des équations de prédiction de la biomasse de l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP) ont été construites à partir d'un échantillonnage effectué dans trois régions du Québec, soit: Lebel-sur-Quévillon, Chibougamau et Baie-Comeau. Deux séries d'équations sont présentées afin de prédire les masses vertes et anhydres de l'arbre total (partie située au-dessus du niveau du sol uniquement), de la tige, de la partie marchande de la tige, de son bois et de son écorce, de la partie non-marchande de la tige, et de la cime. La première série d'équations utilise le diamètre à hauteur de poitrine et la hauteur totale de l'arbre comme variables explicatives tandis que la deuxième série d'équations utilise le diamètre à hauteur de poitrine.

ABSTRACT

Biomass prediction equations for black spruce (*Picea mariana* (Mill.) BSP) were developed from field sampling carried out in three regions of Quebec: Lebel-sur-Quévillon, Chibougamau, and Baie-Comeau. Two series of equations are presented for predicting the green and ovendry masses of the total above-ground tree, stem, merchantable stem, wood and bark of the merchantable stem, unmerchantable stem, and crown. The first set of equations uses diameter at breast height and total height as predictors, while the second series uses only diamater at breast height.

INTRODUCTION

La biomasse forestière pourrait, dans un avenir plus ou moins proche, constituer une source d'énergie renouvelable importante au Canada. C'est particulièrement vrai pour le Québec où le volume ligneux total disponible annuellement est estimé à 35 millions de mètres cubes, soit plus de 15 millions de tonnes anhydres (Lussier et Maranda 1982).

Le but de ce rapport est de fournir des équations de prédiction de biomasse pour l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP) au Québec. L'épinette noire est l'essence forestière commerciale la plus importante au Québec avec 44 % du volume marchand brut sur les forêts publiques accessibles.[1] L'utilisation de ces équations permettra de quantifier cette ressource en terme de masse que ce soit pour des fins d'aménagement ou d'exploitation. Les équations sont conçues pour être appliquées aux données d'inventaire volumétrique où le paramètre le plus fréquemment mesuré est le diamètre à hauteur de poitrine. Pour un nombre plus restreint d'arbres-échantillons, les paramètres mesurés lors de l'inventaire volumétrique conventionnel sont le diamètre à hauteur de poitrine et la hauteur totale. Aussi, deux séries d'équations ont été calculées. La première série a pour variables explicatives le diamètre à hauteur de poitrine et la hauteur totale et la deuxième série utilise le diamètre à hauteur de poitrine seulement. Les deux séries d'équations permettent de prédire les masses vertes et anhydres de l'arbre au complet et de ses composantes.

Les modèles retenus sont non-linéaires; cette forme permettant de prédire la biomasse de façon convenable (Baskerville 1965 et 1972; Hegyi 1972; Crow and Laidly 1980; Payandeh 1981).

MÉTHODOLOGIE

L'échantillonnage de l'épinette noire a couvert trois régions du Québec, soit les régions de Lebel-sur-Quévillon, Chibougamau et Baie-Comeau,

---

1 Demers, D. Service de l'Inventaire forestier, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, communication personnelle.

désignées dans le texte par les lettres L, C et B (figure 1). La région L fait partie de la région forestière B.4 de Rowe (1972). C'est dans la région C, appartenant à la région forestière B.1b de Rowe, qu'a été effectué la plus grande partie de l'échantillonnage. La région B se situe à la limite des régions forestières B.1a et B.1b de Rowe.

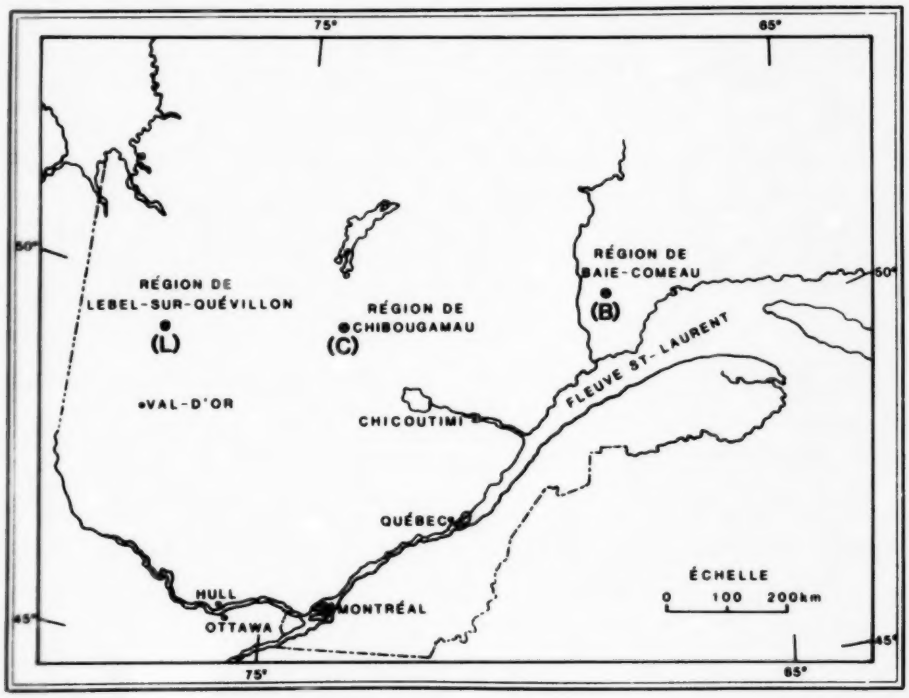


Figure 1. Localisation des régions échantillonnées

Un total de 734 arbres a été retenu pour cette étude. Ces arbres proviennent de 31 placettes échantillons de 0,04 ha, réparties en 3 placettes pour la région L (72 arbres), 24 placettes pour la région C (576 arbres) et 4 placettes pour la région B (86 arbres). La méthodologie utilisée pour les travaux d'échantillonnage sur le terrain et les travaux en laboratoire est présentée à l'annexe 2. Les statistiques descriptives des arbres pour les trois régions échantillonnées et pour l'ensemble des échantillons sont présentées au tableau 1. Les placettes échantillons ont également été classées selon l'indice de qualité de station de Linteau (1959). Leur réparti-

tion selon cet indice place 14 placettes dans la classe II de qualité élevée (328 arbres), 15 placettes dans la classe III de qualité moyenne (358 arbres) et 2 placettes dans la classe IV de qualité faible (48 arbres).

Les composantes de l'arbre utilisées pour l'étude de la biomasse de l'épinette noire sont pour les masses vertes et anhydres:

1. la masse totale de l'arbre, au-dessus du niveau du sol,
2. la tige;
3. la partie marchande de la tige (jusqu'à 9 cm au fin bout);
4. le bois de la partie marchande de la tige;
5. l'écorce de la partie marchande de la tige;
6. la partie non-marchande de la tige;
7. la cime, comprenant les branches vivantes, les aiguilles et les cônes.

Les modèles testés pour les équations se subdivisent en deux groupes, les modèles linéaires et non-linéaires. Les modèles linéaires sont de la forme générale:

$$y = b_o + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \ldots + b_p x_p + e \qquad (1)$$

où y est la masse d'une composante exprimée en kg; x_i (i = 1, ..., p) est fonction d'une combinaison du diamètre à hauteur de poitrine (D) exprimée en cm et/ou de la hauteur totale (H) exprimée en mètres. Ces modèles sont fréquemment utilisés pour la détermination de la biomasse (Alemdag 1981; Lavigne et van Nostrand 1981; Ker et van Raalte 1981). Le modèle non-linéaire utilisé avec D et H est de la forme:

$$y = b_1 D^{b_2} H^{b_3} + e \qquad (2)$$

Les modèles linéaires ont donné des coefficients de détermination (R^2) équivalents, en général, à ceux obtenus par le modèle non-linéaire. Ce critère d'ajustement n'est donc pas suffisant pour le choix du modèle. L'analyse des résidus a donc été utilisée pour juger de l'ajustement des

Tableau 1. Statistiques descriptives des arbres échantillonnés

		Nombre d'arbres	Moyenne	Limite inf.	Limite sup.	Écart-type
Lebel-sur-Quévillon (Région L)	Age (années)	68	116,7	64	222	19,44
	DHP (cm)	72	16,21	3,20	30,40	6,02
	Hauteur totale (m)	72	15,31	3,30	22,77	4,95
	Masse de la cime (kg)	72	16,29	0,27	75,12	16,04
	Masse de la tige (kg)	72	94,21	0,09	345,20	67,28
	Masse de l'arbre (kg)	72	110,50	0,36	415,66	79,40
Chibougamau (Région C)	Age (années)	515	117,3	35	244	41,38
	DHP (cm)	576	13,63	3,10	32,90	5,74
	Hauteur totale (m)	576	12,28	2,66	21,70	4,59
	Masse de la cime (kg)	576	13,13	0,10	99,41	12,73
	Masse de la tige (kg)	576	57,04	0,58	259,14	50,43
	Masse de l'arbre (kg)	576	70,17	0,77	356,22	60,90
Baie Comeau (Région B)	Age (années)	81	138,1	54	224	36,09
	DHP (cm)	86	14,71	3,10	26,50	5,46
	Hauteur totale (m)	86	13,33	3,00	22,31	4,52
	Masse de la cime (kg)	86	12,00	0,60	45,56	10,21
	Masse de la tige (kg)	86	70,68	1,08	230,37	49,22
	Masse de l'arbre (kg)	86	82,68	1,76	263,10	56,85
Ensemble des trois régions	Age (années)	664	119,8	35	244	40,02
	DHP (cm)	734	14,01	3,10	32,90	5,78
	Hauteur totale (m)	734	12,70	2,66	22,77	4,71
	Masse de la cime (kg)	734	13,31	0,10	99,41	12,86
	Masse de la tige (kg)	734	62,28	0,09	345,20	53,33
	Masse de l'arbre (kg)	734	75,59	0,36	415,66	63,59

modèles aux données. Dans l'ensemble, le meilleur ajustement a été obtenu en utilisant le modèle (2), non-linéaire. Ce modèle présente les avantages d'être souple et de forme constante pour toutes les composantes, contrairement aux modèles linéaires dont la forme est souvent différente d'une composante à l'autre, lorsque la technique utilisée pour le choix des variables explicatives est la régression par étape.

Les coefficients du modèle (2) sont estimés par la méthode des moindres carrés avec itération (Jennrich 1977). Le désavantage de cette technique est que le minimum atteint par l'algorithme itératif peut être local ou global (Draper et Smith 1981). Cependant, pour les composantes

de l'épinette noire, la convergence s'est effectuée rapidement et les estimés des coefficients se sont avérés stables. Plusieurs auteurs (Smith et Grigal 1981; Payandeh 1981; Green et Grigal 1978; Crow et Laidly 1980; Stocks 1980) utilisent le modèle non-linéaire de préférence aux modèles linéaires. De plus, le modèle non-linéaire se base sur la mathématique alors que la forme des modèles linéaires demeure un choix statistique.

Dans la plupart des banques de données d'inventaire forestier, dont celle du Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, le paramètre disponible pour tous les arbres échantillonnés est le diamètre à hauteur de poitrine. La hauteur totale est habituellement dérivée de relations hauteur-diamètre, construites à partir d'un échantillonnage plus restreint d'arbres sur lesquels les deux paramètres ont été mesurés. C'est la raison pour laquelle une série d'équations avec D seul est présentée pour chaque composante et pour l'arbre total. Le modèle adopté pour cette série d'équations est:

$$y = b_1 D^{b_2} + e \qquad (3)$$

Comme pour le modèle (2), les coefficients de régression sont déterminés par la méthode des moindres carrés avec itération.

L'inégalité de la variance des erreurs a été observée avec les données de biomasse. L'hypothèse de l'égalité des variances pour la méthode des moindres carrés se trouve ainsi violée. L'effet de cette violation est que les coefficients de régression sont toujours non-biaisés, mais ne sont plus à variance minimale. Les inférences statistiques (en particulier les intervalles de confiance des valeurs prédites ($\hat{y}_i$)) deviennent moins précises. Pour corriger cette situation, la méthode des moindres carrés pondérés a été utilisée:

$$\Sigma\, w_i\, (y_i - \hat{y}_i)^2 \qquad (4)$$

où

$$w_i = \frac{k^2}{\sigma_i^2} \qquad (5)$$

k^2 étant une constante et σ_i^2 la variance.

Le facteur de pondération (w_i) est inversément proportionnel à la variance. L'examen graphique des résidus ($y_i - \hat{y}_i$) des moindres carrés ordinaires a montré que la variance des résidus augmente avec D. Cette constatation appuyée par la littérature sur la biomasse et le cubage des arbres, nous a permis de poser l'hypothèse suivante:

$$\sigma_i^2 = k^2 D_i^{\delta} \qquad (6)$$

d'où

$$w_i = \frac{1}{D_i^{\delta}} \qquad (7)$$

Le problème consiste donc à chercher la valeur δ qui correspond au meilleur w_i. Cependant, les critères d'ajustement habituels (R^2 et erreur-type de l'estimé (s)) sont inutilisables pour le choix de cette valeur. L'introduction de w_i dans l'équation (4) change l'échelle de y et rend incomparable les valeurs de R^2 et s pour les différentes valeurs δ. L'indice de Furnival (1961) a été utilisé pour déterminer la meilleure valeur de δ. Il s'avère que pour toutes les composantes, sauf la partie non-marchande de la tige, ($\delta = 4$) donne les meilleurs résultats. Pour la partie non-marchande de la tige, les meilleurs résultats sont obtenus sans pondération.

RÉSULTATS

Le tableau 2 présente les coefficients du modèle utilisant D et H, le domaine d'applicabilité, le coefficient de détermination et l'erreur-type de l'estimé. Ces deux dernières statistiques ont été calculées à l'échelle originale. Les R^2 sont généralement élevés, sauf pour les masses vertes et anhydres de la partie non-marchande de la tige qui sont de 0,33 et 0,34 respectivement. L'annexe 1 présente les tables de biomasse des principales composantes construites avec le modèle (2) incluant D et H. Les masses vertes et anhydres de l'épinette noire et des composantes sont données en kilogrammes. Le tableau 3 fournit une

information semblable à celle du tableau 2, soit les coefficients du modèle, le domaine d'applicabilité, le coefficient de détermination et l'erreur-type de l'estimé, mais pour le modèle utilisant uniquement D comme variable explicative. Les valeurs de R^2 sont plus faibles que celles obtenues avec le modèle utilisant D et H et les valeurs de s sont plus élevées.

La procédure mathématique pour l'établissement des intervalles de confiance des valeurs prédites n'est pas standard, mais propre aux modèles eux-mêmes. Le développement de cette procédure nécessite le concours de mathématiciens et devrait être disponible sous peu.

DISCUSSION

La contribution de H, inclue comme variable explicative dans l'équation, est généralement importante sauf pour les masses vertes et anhydres de la cime et de l'arbre total, où R^2 et les s obtenus avec les modèles 2 et 3 sont pratiquement identiques. Généralement, lorsque D seul est utilisé, l'équation obtenue est dite locale et lorsque D et H sont utilisés conjointement, l'équation est dite générale. L'échantillonnage de l'épinette noire, effectué lors de cette étude, couvre des qualités de stations élevées, moyennes et faibles, et certaines placettes sont situées dans des régions écologiques différentes. Il semble donc que l'utilisation de D comme seul prédicteur fournit des équations aussi générales que celles utilisant D et H, pour les masses vertes et anhydres de la cime et de l'arbre total.

CONCLUSION

L'établissement d'équations, applicables par pied d'arbre, pour prédire la biomasse d'une essence forestière constitue la première étape pour estimer la masse verte et anhydre de l'arbre, de ses composantes ou d'un peuplement forestier. Ces équations devraient permettre de prédire la biomasse de l'épinette noire de façon suffisamment précise pour les fins

Tableau 2. Equations de prédiction des masses vertes et anhydres de l'épinette noire

modèle $\hat{y} = b_1 D^{b_2} H^{b_3}$

	b_1	b_2	b_3	APPLICABILITE D(cm)	APPLICABILITE H (m)	R^2	s
MASSE VERTE							
Totale	0,169435	2,148830	0,278921	3,1-32,0	2,7-22,8	0,96	20,65
Tige	0,072632	1,818902	0,859105	3,1-32,0	2,7-22,8	0,98	11,84
Partie marchande de la tige	0,017099	2,137764	1,006477	9,1-32,0	5,7-22,8	0,96	16,80
Partie non-marchande de la tige	23,728418	-1,037339	0,854697	9,1-32,0	5,7-22,8	0,33	2,58
Cime	0,170944	2,872389	-1,106552	3,1-32,0	2,7-22,8	0,71	12,11
Bois partie marchande de la tige	0,013777	2,129489	1,045192	9,1-32,0	5,7-22,8	0,96	15,11
Écorce partie marchande de la tige	0,003593	2,182870	0,768734	9,1-32,0	5,7-22,8	0,91	2,96
MASSE ANHYDRE							
Totale	0,082980	2,082048	0,417362	3,1-32,0	2,7-22,8	0,97	10,63
Tige	0,035541	1,752414	1,000382	3,1-32,0	2,7-22,8	0,98	6,73
Partie marchande de la tige	0,007849	2,050743	1,193660	9,1-32,0	5,7-22,8	0,96	9,37
Partie non-marchande de la tige	12,525543	-1,235576	1,087412	9,1-32,0	5,7-22,8	0,34	1,68
Cime	0,085294	2,888177	-1,075217	3,1-32,0	2,7-22,8	0,71	6,98
Bois partie marchande de la tige	0,006308	2,034229	1,243561	9,1-32,0	5,7-22,8	0,96	8,49
Écorce partie marchande de la tige	0,001777	2,170398	0,839864	9,1-32,0	5,7-22,8	0,90	1,85

Tableau 3. Equations de prédiction des masses vertes et anhydres de l'épinette noire

modèle $\hat{y} = b_1 D^{b_2}$

	b_1	b_2	APPLICABILITÉ D(cm)	R^2	s
MASSE VERTE					
Totale	0,186673	2,381657	3,1-32.0	0,95	22,52
Tige	0,100993	2,525641	3,1-32.0	0,94	20,71
Partie marchande de la tige	0,038946	2,814353	9,1-32.0	0,90	25,35
Partie non-marchande de la tige	38,167971	-0,382850	9,1-32.0	0,17	2,87
Cime	0,161253	1,828947	3,1-32.0	0,62	13,70
Bois partie marchande de la tige	0,032653	2,829444	9,1-32.0	0,90	23,03
Écorce partie marchande de la tige	0,006513	2,711091	9,1-32.0	0,88	3,37
MASSE ANHYDRE					
Totale	0,096332	2,428870	3,1-32.0	0,96	12,66
Tige	0,053649	2,565617	3,1-32.0	0,94	13,16
Partie marchande de la tige	0,021019	2,850562	9,1-32.0	0,90	15,91
Tige non-marchande	22,910667	-0,401920	9,1-32.0	0,14	1,92
Cime	0,080830	1,873260	3,1-32.0	0,63	7,87
Bois tige marchande	0,017698	2,865686	9,1-32.0	0,90	14,51
Écorce tige marchande	0,003456	2,742218	9,1-32.0	0,86	2,15

recherchées, surtout en ce qui concerne les équations de l'arbre au total et de la tige. Pour certaines composantes, dont la partie marchande de la tige, son bois, son écorce et la cime, les prédicteurs actuellement disponibles dans les banques d'inventaire conventionnel ne permettent pas un ajustement supérieur à celui indiqué dans ce travail.

REMERCIEMENTS

Le Groupe Poulin Thériault Ltée a récolté les données de la région de Chibougamau suite à un contrat financé par le programme ENFOR. Je voudrais remercier M. J.B. Breton pour le traitement des échantillons.

RÉFÉRENCES

Alemdag, I.S. 1981. Équations de masse pour la portion épigée de six essences de feuillus dans des peuplements naturels de la forêt expérimentale de Petawawa. Serv. Can. For., Inst. for. nat. Petawawa. Rapp. Inf. PI-X-6(F). 10 p.

Baskerville, G.L. 1965. Estimating dry weight of tree components and total standing crop in conifer stands. Ecology. 46:867-869.

Baskerville, G.L. 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. Can. J. For. Res. 2:49-53.

Crow, T.W; Laidly, P.R. 1980. Alternative models for estimating woody plant biomass. Can. J. For. Res. 10:367-370.

Draper, N.R; Smith. H. 1981. Applied regression analysis. 2nd ed. John Wiley and Sons, Inc. New York, N.Y. 709 p.

Furnival, G.M. 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. For. Sci. 7:337-341.

Green, D.C; Grigal, D.F. 1978. Generalized biomass estimation equations for jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.). Minnesota For. Res. Note 268. 4 p.

Hegyi, F. 1972. Dry matter distribution in jack pine stands in northern Ontario. For. Chron. 48:193-197.

Jennrich, R. 1981. Nonlinear regression and maximum likelihood estimation. Pages 289-344 *in* W.J. Dixon, ed. BMDP statistical software. Univ. California Press, Berkeley, Calif.

Ker, M.F; van Raalte, G.D. 1981. Tree biomass equations for *Abies balsamea* and *Picea glauca* northwestern New Brunswick. Can. J. For. Res. 11:13-17.

Lavigne, M.B; van Nostrand, R.S. 1981. Biomass equations for six tree species in central Newfoundland. Can. For. Serv., Newfoundland For. Res. Centre. Inf. Rep. N-X-199. 51 p.

Linteau, A. 1959. Classification des stations forestières de la section des conifères du Nord-Est, région forestière boréale du Québec. Min. Nord Can. ressources nat., Dir. Forêts., Bull. 118. 93 p.

Lussier, L.J,; Maranda, J. 1982. Perspectives d'utilisation de la biomasse forestière au Québec. Serv. Can. For., Centre Rech. for. Laurentides. Rapp. Inf. LAU-X-52. 55 p.

Payandeh, B. 1981. Choosing regression models for biomass prediction equations. For. Chron. 57:229-232.

Rowe, J.S. 1972. Forest regions of Canada. Can.For. Serv., Pub. 1300. 172 p.

Schmitt, M.D.C; Grigal, D.F. 1981. Generalized biomass estimation equation for *Betula papyrifera* Marsh. Can. J. For. Res. 11:837-840.

Stocks, B.J. 1980. Black spruce crown fuel weight in northern Ontario. Can. J. For. Res. 10:498-501.

ANNEXE 1

Masses vertes et anhydres de l'épinette noire et de ses principales composantes, en fonction du diamètre à hauteur de poitrine et de la hauteur totale

Annexe 1.1 Masse verte totale de l'épinette noire (kg)

D (cm)	H (m)											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
4	4,04	4,91	5,49	5,95								
6	9,66	11,72	13,13	14,22	15,14							
8		21,75	24,36	26,39	28,09	29,55	30,85					
10		35,14	39,34	42,63	45,37	47,74	49,83					
12			58,21	63,08	67,13	70,63	73,73	76,53				
14				87,85	93,49	98,37	102,69	106,58	110,14			
16					124,56	131,06	136,81	142,01	146,75	151,13		
18						168,80	176,22	182,90	189,01	194,65		
20						211,69	220,99	229,38	237,04	244,11	250,68	
22							271,22	281,51	290,91	299,59	307,66	
24							326,89	339,39	350,72	361,18	370,91	
26								403,08	416,55	428,97	440,52	451,35
28									488,45	503,02	516,57	529,26
30									566,51	583,40	599,12	613,84
32									650,78	670,19	688,25	705,15

D: diamètre à hauteur de poitrine; H: hauteur totale

N.B. Les tables de l'annexe 1 ne contiennent aucune extrapolation, c'est-à-dire qu'au moins un arbre a été échantillonné pour chaque couple diamètre-hauteur. La définition des classes de diamètre et de hauteur est donnée à l'annexe 2.

Annexe 1.2 Masse verte de la tige de l'épinette noire (kg)

D (cm)	H (m)											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
4	1,64	2,97	4,21	5,40								
6	3,43	6,22	8,81	11,28	13,67							
8		10,50	14,87	19,04	23,06	26,97	30,79					
10		15,75	22,31	28,57	34,60	40,47	46,20					
12			31,09	39,80	48,21	56,39	64,37	72,20				
14				52,68	63,82	74,64	85,21	95,56	105,74			
16					81,36	95,16	108,63	121,83	134,81	147,58		
18						117,89	134,58	150,94	167,02	182,84		
20						142,79	163,01	182,83	202,29	221,46	240,36	
22							193,87	217,43	240,59	263,38	285,85	
24							227,11	254,72	281,84	308,54	334,87	
26								294,64	326,01	356,90	387,35	417,42
28									373,06	408,40	443,25	477,65
30									422,94	463,01	502,51	541,52
32									475,62	520,68	565,11	608,97

D: diamètre à hauteur de poitrine; H: hauteur totale

Annexe 1.3 Masse verte de la cime de l'épinette noire (kg)

D (cm)	H (m)											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
4	4,26	1,98	1,26	0,92								
6	13,64	6,34	4,05	2,94	2,30							
8		14,48	9,24	6,72	5,25	4,29	3,62					
10		27,48	17,55	12,76	9,97	8,15	6,87					
12			29,62	21,55	16,83	13,76	11,60	10,01				
14				33,55	26,21	21,42	18,06	15,58	13,68			
16					38,46	31,43	26,50	22,86	20,07	17,86		
18						44,09	37,17	32,07	28,15	25,05		
20						59,67	50,31	43,40	38,10	33,90	30,51	
22							66,16	57,07	50,09	44,58	40,12	
24							84,94	73,27	64,32	57,24	51,51	
26								92,21	80,94	72,04	64,83	58,88
28									100,15	89,12	80,20	72,84
30									122,09	108,66	97,78	88,81
32									146,96	130,79	117,70	106,89

D: diamètre à hauteur de poitrine; H: hauteur totale

Annexe 1.4 Masse anhydre totale de l'épinette noire (kg)

D (cm)	H (m)											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
4	1,99	2,65	3,14	3,54								
6	4,62	6,17	7,31	8,24	9,05							
8		11,23	13,31	15,00	16,47	17,77	18,95					
10		17,88	21,17	23,87	26,20	28,28	30,16					
12			30,95	34,90	38,30	41,33	44,08	46,61				
14				48,10	52,80	56,97	60,76	64,24	67,48			
16					69,72	75,23	80,23	84,83	89,11	93,11		
18						96,14	102,53	108,41	113,87	118,99		
20						119,73	127,68	135,00	141,80	148,18	154,19	
22							155,71	164,63	172,93	180,70	188,03	
24							186,63	197,33	207,27	216,59	225,38	
26								233,11	244,86	255,87	266,25	276,10
28									285,71	298,56	310,67	322,16
30									329,85	344,68	358,66	371,93
32									377,29	394,25	410,25	425,42

D: diamètre à hauteur de poitrine; H: hauteur totale

Annexe 1.5 Masse anhydre de la tige de l'épinette noire (kg)

D (cm)	H (m)											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
4	0,81	1,61	2,42	3,23								
6	1,64	3,29	4,93	6,57	8,22							
8		5,44	8,16	10,88	13,61	16,33	19,05					
10		8,04	12,07	16,09	20,12	24,14	28,16					
12			16,61	22,15	27,69	33,23	38,77	44,31				
14				29,02	36,27	43,53	50,79	58,05	65,31			
16					45,84	55,01	64,18	73,35	82,53	91,70		
18						67,62	78,90	90,17	101,45	112,72		
20						81,33	94,89	108,46	122,02	135,58	149,14	
22							112,14	128,17	144,20	160,23	176,26	
24							130,62	149,28	167,95	186,62	205,29	
26								171,76	193,24	214,72	236,20	257,68
28									220,04	244,50	268,96	293,42
30									248,32	275,92	303,52	331,13
32									278,05	308,96	339,87	370,78

D: diamètre à hauteur de poitrine; H: hauteur totale

Annexe 1.6 Masse anhydre de la cime de l'épinette noire (kg)

D (cm)	H (m)											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
4	2,22	1,05	0,68	0,50								
6	7,16	3,40	2,20	1,61	1,27							
8		7,80	5,04	3,74	2,91	2,39	2,03					
10		14,85	9,60	7,05	5,54	4,56	3,86					
12			16,26	11,93	9,39	7,72	6,54	5,66				
14				18,63	14,65	12,04	10,20	8,84	7,79			
16					21,55	17,71	15,01	13,00	11,45	10,23		
18						24,89	21,09	18,27	16,09	14,37		
20						33,74	28,59	24,76	21,82	19,48	17,58	
22							37,65	32,61	28,73	25,66	23,16	
24							48,40	41,93	36,94	32,99	29,77	
26								52,83	46,55	41,56	37,52	34,17
28									57,66	51,48	46,47	42,32
30									70,37	62,84	56,72	51,65
32									84,79	75,71	68,34	62,23

D: diamètre à hauteur de poitrine; H: hauteur totale

ANNEXE 2

Procédure d'échantillonnage

LIMITE DES CLASSES DE D ET H

D (cm)	H (m)
4: 3,1- 5,0	2: 1,01- 3,00
6: 5,1- 7,0	4: 3,01- 5,00
8: 7,1- 9,0	6: 5,01- 7,00
10: 9,1-11,0	8: 7,01- 9,00
12: 11,1-13,0	10: 9,01-11,00
14: 13,1-15,0	12: 11,01-13,00
16: 15,1-17,0	14: 13,01-15,00
18: 17,1-19,0	16: 15,01-17,00
20: 19,1-21,0	18: 17,01-19,00
22: 21,1-23,0	20: 19,01-21,00
24: 23,1-25,0	22: 21,01-23,00
26: 25,1-27,0	24: 23,01-25,00
28: 27,1-29,0	
30: 29,1-31,0	
32: 31,1-33,0	

CHOIX DES ARBRES-ÉCHANTILLONS

Dans chaque peuplement sélectionné, un point est choisi au hasard pour l'établissement de la placette-échantillon. Dans chaque placette de 0,04 ha, un inventaire de toutes les tiges dont le diamètre à hauteur de poitrine D est supérieur à 1,1 cm a été effectué. Un total de 20 arbres-échantillons de D supérieur à 9,1 cm et de 10 arbres-échantillons dont D est inférieur à 9,1 cm sont échantillonnés. Pour les arbres dont D est supérieur à 9,1 cm, le nombre de sujets sélectionnés par classe de diamètre est proportionnel au nombre d'arbres présents dans une classe donnée, multiplié par le diamètre de cette classe au carré. La formule utilisée s'écrit donc:

$$M_i = N_i \alpha_i^2$$

où N est le nombre total d'arbres dans la classe i et a_i est le diamètre de la classe. Le nombre d'arbres à échantillonner dans chaque classe est désigné par le rapport:

$$\frac{M_i}{\Sigma M_i} \times 20$$

Pour les classes de D de 2, 4,6 et 8 cm, 2 arbres sont sélectionnés pour chaque classe. Lorsque D est inférieur à 1.1 cm deux tiges sont échantillonnées, la première tige se situe dans la classe de hauteur de 51 à 100 cm et la deuxième dans la classe de hauteur de 101 à 150 cm.

PROCÉDURE D'ÉCHANTILLONNAGE DES ARBRES-ÉCHANTILLONS

A. Arbres dont D ≥ 9,1 cm

1. Abattre la tige le plus près possible du niveau du sol.
2. Mesurer: a) hauteur totale, au dm près;
   b) hauteur marchande (9 cm au fin bout), au cm près;
   c) hauteur à 1/3 et 2/3 de la hauteur marchande et marquer la position sur la tige;
   d) hauteur du premier verticille de branches vivantes à partir du sol, au dm près.
3. Mesurer: a) diamètre à hauteur de poitrine avec écorce (a.e.), au mm près;
   b) diamètre à 0.8 m du sol (a.e.), au mm près;
   c) diamètre de la souche au point de coupe (a.e.), au mm près;
   d) diamètre (a.e.) 5 cm sous le ler verticille vivant, au au mm près;
   e) diamètre à 1/3 et 2/3 de la hauteur marchande, au mm près.
4. Séparer et sélectionner les parties suivantes:
   a) couper toutes les branches en laissant la pousse terminale;

b) subdiviser les branches en 3 empilements:
   . branches vivantes dont le diamètre basal est supérieur à 3,0 cm,
   . branches vivantes dont le diamètre basal est égal ou inférieur à 3,0 cm,
   . branches mortes;
c) sectionner la tige principale à 1/3 et 2/3 de la hauteur marchande et à la hauteur marchande.

5. Peser les masses vertes (a.e.) suivantes:
   a) branches dont le diamètre basal est supérieur à 3,0 cm, branches dont le diamètre basal est égal ou inférieur à 3,0 cm, branches mortes;
   b) les 3 sections de la tige marchande séparément;
   c) la partie non-marchande de la tige.

6. Prélever les échantillons suivants:
   a) 2 échantillons de branches dont le diamètre basal est supérieur à 3,0 cm;
   b) 2 échantillons de branches dont le diamètre basal est égal ou inférieur à 3,0 cm;
   c) 2 échantillons de branches mortes;
   d) 1 disque-échantillon de 3 cm d'épaisseur environ pris respectivement aux poitions suivantes:
      - souche,
      - hauteur de poitrine,
      - 1/3 marchand,
      - 2/3 marchand,
      - à la hauteur marchande (9,0 cm au fin bout).

Ces échantillons sont ensuite placés dans des sacs hermétiquement scellés. Les sacs et les échantillons sont identifiés.

7. Dans les 24 heures suivant la récolte des échantillons, peser tous les échantillons, au 0.1 g près. Pour les disques-échantillons, déterminer la masse verte des disques avec écorce et la masse verte des disques sans écorce. Les branches, les disques et les écorces sont conservés pour la détermination des masses anhydres.

B. Arbres dont 1,1 cm ≤ D < 9,1 cm

1. Abattre la tige le plus près possible du niveau du sol.

2. Mesurer: a) hauteur totale, au cm près;
   b) diamètre au point de coupe (a.e.), au mm près;
   c) diamètre à hauteur de poitrine (a.e.), au mm près;
   d) diamètre à la demie hauteur totale, au mm près.

3. Séparer et sélectionner les parties suivantes:
   a) couper toutes les branches en laissant la pousse terminale;
   b) subdiviser les branches en 3 empilements:
      . branches vivantes dont le diamètre basal est supérieur à 3,0 cm (si applicable),
      . branches vivantes dont le diamètre basal est égal ou inférieur à 3,0 cm,
      . branches mortes.

4. Peser les masses vertes (a.e.) suivantes:
   a) branches vivantes dont le diamètre basal est supérieur à 3,0 cm (si applicable)
   b) branches vivantes dont le diamètre basal est égal ou inférieur à 3,0 cm;
   c) branches mortes;
   d) masse verte de la tige principale.

5. Prélever les échantillons suivants:

   a) 2 branches prises au hasard dans chacun des 3 empilements (si applicable);

   b) 1 disque-échantillon, de 3 cm d'épaisseur environ, pris respectivement aux positions suivantes:

      - souche,
      - hauteur de poitrine,
      - ½ de la hauteur totale;

   Les échantillons sont ensuite placés dans des sacs hermétiquement scellés. Les sacs et les échantillons sont identifiés.

6. Dans les 24 heures suivant la récolte des échantillons, peser tous les échantillons, au 0,1 g près. Pour les disques-échantillons, déterminer la masse verte des disques avec écorce et la masse verte des disques sans écorce. Les branches, les disques et les écorces sont conservés pour la détermination des masses anhydres.

PROCÉDURE DE TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS EN LABORATOIRE

Les échantillons prélevés lors de cette étude ont été transportés au Centre de Recherches Forestières des Laurentides toutes les deux semaines et immédiatement congelés, jusqu'au moment du séchage, afin d'éviter toute détérioration des échantillons en attendant le moment du séchage. Tous les échantillons ont été séchés au four à 105°C, pendant un minimum de 24 heures ou jusqu'à ce que la masse demeure constante.

Après séchage, les échantillons sont refroidis jusqu'à atteindre la température ambiante, et ensuite pesés au 0,1 g près. L'âge de chaque arbre-échantillon a été déterminé à partir du disque prélevé à la souche. Tous les disques récoltés durant cette étude sont conservés pour des travaux ultérieurs reliés ou non à l'étude de la biomasse forestière.

POOR

QUALITY

ORIGINAL